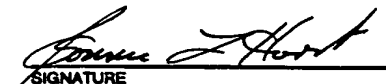


4-16-04  
DATE

  
SIGNATURE

DaimlerChrysler AG

Zimmermann-Chopin

09.03.2004

Auslandsfassung

Keramische Gussformen für den Metallguss und deren  
Herstellungsverfahren

Die Erfindung betrifft Gussformen für den metallischen Guss,  
insbesondere den Feinguss von Präzisionsbauteilen und  
Verfahren zur Herstellung von Gussformen, die auf generativen  
5 Rapid Prototyping-Verfahren basieren, sowie besonders für  
diese Verfahren geeignete keramische Rohstoffe.

In der Gießereitechnologie gehört es zum Stand der Technik  
bei der Herstellung von Gussteilen verlorene Sandformen oder  
10 keramische Formen zu verwenden, die nach dem Guss nicht  
wiederverwendet werden.

Die Formgebung dieser Gussformen erfolgt beim Feinguss,  
Blockguss oder Schalenguss üblicherweise über das  
15 Wachsauerschmelzverfahren oder verwandte Verfahren. Hierbei  
wird zunächst ein WachsmodeLL des zu fertigenden Gussteils  
hergestellt. Das WachsmodeLL wird hierauf mehrfach mit  
Formsänden beschichtet, was üblicherweise durch Auftragen  
eines entsprechenden keramischen Schlickers erfolgt. Der  
20 Schichtauftrag wird in mehreren Schritten fortgesetzt bis die  
grüne Form eine ausreichende Festigkeit aufweist, um das  
Wachs auszuschmelzen und hierdurch die Formkavität der  
Gussform zu bilden. In der Regel muss die grüne Gussform vor  
dem metallischen Guss noch gebrannt werden, um organische  
25 Hilfsstoffe (insbesondere Bindemittel) zu pyrolysieren und  
die Gussform durch Keramisierung zu verfestigen. Unter  
Keramisierung ist insbesondere das Brennen oder Sintern der  
grünen Form zu verstehen.

Das Wachsausschmelzverfahren besitzt den Nachteil, dass das Wachsmo-  
dell, im folgenden auch als Urmodell bezeichnet, zum  
Teil aufwändig hergestellt werden muss. Insbesondere im Falle  
5 der Prototypenfertigung müssen unterschiedliche Modelle  
individuell aus Wachs gefertigt werden. Wegen des hohen  
Wärmeausdehnungskoeffizienten von Wachs ergeben sich große  
Toleranzbereiche für die Maßhaltigkeit.

10 Nachteilig ist ebenfalls der zusätzliche Verfahrensschritt  
des Wachsausschmelzens, der insbesondere bei relativ großen  
Modellen einen zusätzlichen Zeitaufwand bedeutet.

Eine Möglichkeit auf die Herstellung von Wachsmo-  
15 zu verzichten und gleichzeitig in einfacher Weise eine nahezu  
beliebige individuelle Formenvielfalt zugänglich zu machen,  
ist durch die Rapid Prototyping-Verfahren (RP-Verfahren)  
gegeben. Es sind Verfahren bekannt bei denen keramische  
Gussformen direkt aus Computermodellen mittels generativen  
20 RP-Verfahren darstellbar sind. Dabei werden die Gussformen  
schichtweise aus Keramikpulverschichten aufgebaut, die durch  
Verklebung oder Versinterung in ausgewählten Bereichen zu den  
3-dimensionalen Guss-Vorformen zusammengefügt werden. Diese  
Verfahren sind beispielsweise in US 5,204,055 näher  
25 beschrieben. Zu den Nachteilen dieser Verfahren gehört, dass  
im allgemeinen eine wesentlich rauhere Oberfläche als beim  
Wachsausschmelzverfahren gebildet wird. Typischerweise bleibt  
eine stufenartige Oberflächenstruktur, gemäß der Dicke der  
Keramikpulverschichten, zurück. Auch die vollständige  
30 Entfernung des nach dem RP-Verfahren im Forminnenraum  
verbleibenden nicht gebundenen Restpulvers führt zu  
Problemen. Dies führt zu einer geringen Oberflächengüte, oder  
zu einer Penetration des Metallgusses.

In der US 6,109,332 wird vorgeschlagen, die Oberflächen der Kavitäten der mittels generativer RP-Verfahren hergestellten Gussformen mit Lösungsmittel auszuwaschen oder die stufenartigen Oberflächen mit Reibmittel zu glätten. Dieses  
5 Verfahren führt grundsätzlich auch zu einem Abtrag beziehungsweise einer Zerstörung von gewollten Feinstrukturen.

Ein weiterer Problemkreis bezieht sich auf die Maßhaltigkeit  
10 des Gusses.

Der metallische Feinguss wird in der Regel als Heißguss durchgeführt bei dem sich die Gussform bei Temperaturen von einigen 100 °C befindet und entsprechend ihrer thermischen  
15 Ausdehnung ein größeres Volumen einnimmt als im kalten Zustand. Nach dem Abguss des Metalls kühlen keramische Gussform und Metall gemeinsam von hohen Temperaturen auf Raumtemperatur ab. In der Regel weist das Metall einen wesentlich höheren thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf  
20 als die Keramik, so dass es zu Verspannungen und Verzug des Gussformlings kommen kann.

Eine Möglichkeit zur Verringerung der Verspannungen und des Verzugs wird beispielsweise in der EP 0 370 751 B1  
25 beschrieben. Es wird ausgeführt, die Wärmeausdehnungskoeffizienten von Metall und Keramik möglichst anzugleichen, indem eine zweischichtige Gussform aufgebaut wird. Dabei weist die Innenschicht der Gussform einen höheren Wärmeausdehnungskoeffizienten als die äußere  
30 Schicht auf. Die Innenschicht ist bevorzugt aus Zirkonsilikat und Aluminiumoxidplättchen aufgebaut. Die Gussform wird mittels Beschichtung von Wachsmodellen aufgebaut (Wachsausschmelzverfahren). Die ausgeführte geometrische Anordnung der zwei Schichten ist indes durch die bekannte

generativen RP-Verfahren nicht realisierbar. Das Zirkonsilikat weist mit ca.  $4,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  außerdem einen relativ niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf. Die Behinderung der Schwindung des Gussmetalls, insbesondere bei Formkernen, besteht somit nach wie vor.

Einen weiteren wesentlichen Einfluss auf die Maßhaltigkeit hat die durch das Brennen der grünen Gussformen hervorgerufene Sinterschwindung. Sie führt zu einer Volumenabnahme der Gussform. Nur für einfachste Formen kann diese Schwindung vorausberechnet und durch entsprechendes Übermaß in der Urform kompensiert werden.

Es ist somit Aufgabe der Erfindung eine Gussform für den Metallguss, insbesondere den metallischen Feinguss, bereitzustellen, die eine hohe Oberflächengüte aufweist und die Maßhaltigkeit der Gussteile verbessert, sowie ein Verfahren und dessen Rohstoffe aufzuzeigen nach dem sich die Gussformen in einfacher Weise, insbesondere ohne Zuhilfenahme von Urformen aus Wachs, herstellen lassen.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die Gussform für den metallischen Feinguss von Präzisionsbauteilen zumindest zu wesentlichen Anteilen aus einer porösen Keramik im grünen oder gesinterten Zustand besteht, deren Wärmeausdehnungskoeffizient oberhalb  $7,5 \text{ } \mu\text{m/mK}$  ( $7,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ) liegt, wobei die Gussform mittels eines generativen Rapid Prototyping-Verfahrens gefertigt wird, bei welchem bevorzugt Pulvermischungen aus beschichtetem Grob- und Feinpulver eingesetzt werden.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen die Gussform teilweise oder gänzlich, zumindest aber in wesentlichen Anteilen, aus einer porösen Keramik mit hohem Wärmeausdehnungskoeffizienten zu fertigen. Hierdurch wird der Unterschied der thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen Gussmetall und Gussform gering gehalten und die thermischen Spannungen nach dem Guss erheblich reduziert. Insbesondere wird die gegebenenfalls durch die geometrische Gestalt der Gussform hervorgerufene behinderte Schwindung erheblich reduziert. Die Maßhaltigkeit des Gusses wird hierdurch signifikant verbessert. Der Bereich bevorzugter Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) der Keramik richtet sich nach dem entsprechenden Gussmetall. Für Stähle wird ein WAK oberhalb  $7,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  und besonders bevorzugt im Bereich von  $8,5$  bis  $12 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  bevorzugt.

Insbesondere im Bereich feiner Formstrukturen, Hinterschnitte oder Formkerne ist der an das Gussmetall angepasste WAK von besonderem Vorteil. Daher ist für den Fall, dass die Gussform nur zum Teil aus der Keramik mit hohem WAK gefertigt wird vorgesehen, zumindest die feinen Formstrukturen und/oder gegebenenfalls vorhandene Formkerne aus dieser Keramik zu fertigen. Unter Formkernen sind in diesem Zusammenhang auch alle Gussformstrukturen zu verstehen die vom Gussmetall zum überwiegenden Teil ihrer Oberfläche umflossen werden.

Zu den geeigneten Materialien für die Gussform gehören Carbidische, Nitridische und Oxidische Keramiken, deren WAK oberhalb ca.  $7,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  liegt. Besonders geeignet sind daher die Oxidkeramiken auf der Basis der Elemente Zr, Al, Mg. Besonders bevorzugt sind mittels Ce, Mg, oder Y teilstabilisiertes Zirkonoxid, Al/Zr-Oxide, Spinell und Magnesiumsilikate.

Neben diesen Hauptkomponenten enthält die Oxidkeramik erfindungsgemäß Bindephasen, die sich hinsichtlich ihrer Sintertemperaturen deutlich von den Hauptkomponenten der Gussform unterscheiden. Diese Binderphasen sind  
5 typischerweise auf der Basis von  $\text{SiO}_2$  oder Silikaten aufgebaut. Die Sintertemperatur der Binderphasen liegt bevorzugt mindestens 50 °C unterhalb derjenigen der übrigen Komponenten. Besonders bevorzugt liegt die Temperaturdifferenz der Sintertemperaturen oberhalb ca.  
10 150°C.

Die Festigkeit der keramischen Gussform wird dabei im wesentlichen über den Anteil und die Art der Bindephasen bestimmt und stellt sich durch einen keramischen Brand der grünen Form oder beim Aufheizen der grünen Form auf die  
15 Gusstemperatur ein.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen den Gehalt an Bindephasen möglichst so weit zu reduzieren, dass kein Nachsintern der keramischen Gussform beim keramischen Brand auftreten kann,  
20 beziehungsweise keine nennenswerte Sinterschwindung mehr auftritt. Besonders bevorzugt tritt bei Temperaturen unterhalb der Gusstemperatur keine nennenswerte Sinterschwindung auf.

Der Anteil an Bindephasen ist daher auf wenige Gew%  
25 beschränkt und liegt typischerweise unterhalb 7 Gew%.

Die Porosität der keramischen Gussform entspricht dem aus dem Stand der Technik bekannten üblichen Bereich für keramische Gussformen.

30

Die übliche Vorgehensweise zur Herstellung der keramischen Gussformen sieht einen keramischen Brand vor.

Eine weitere erfindungsgemäße Ausgestaltung sieht demgegenüber vor, dass die Gussform zumindest anteilsweise aus grüner Keramik (Grünform) aufgebaut ist. Beispielsweise kann der Hauptteil der Gussform keramisiert und Kerne oder  
5 Einlegeteile in grünem Zustand vorliegen. Die grünen Anteile der Form enthalten somit zumindest vor der Aufheizung der Gussform auf Gusstemperatur noch organische Bindemittel. Der Anteil an organischen Bindemitteln liegt dabei üblicherweise im Bereich von 1 bis 10 Gew%. Dabei werden carbonisierende,  
10 das heißt bei der Pyrolyse einen hohen Kohlenstoffrückstand bildende, organische Bindemittel bevorzugt. Die organischen Bindemittel werden beim Aufheizen je nach Temperatur und Heizzeit teilweise oder ganz zersetzt.  
Ein hoher Anteil an organischen Bindemitteln kamen in  
15 vorteilhafter Weise die Porosität der Gussform erhöhen.

Das Verzichten auf einen gesonderten keramischen Brand der grünen Gussform stellt einen weiteren wichtigen  
Verfahrensvorteil dar.

20

Die erfindungsgemäßen Gussformen sind insbesondere für den Feinguss von Metalllegierungen mit einem mittleren Wärmeausdehnungskoeffizient im Bereich von  $5$  bis  $14 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (Mittelwert im Temperaturintervall  $0$  bis  $800^\circ\text{C}$ ) geeignet.  
25 Zu den besonders gut mit den erfindungsgemäßen Gussformen kooperierenden Metallegierungen gehören Stähle, ferritische, martensitische Stähle, Fe/Ni-, Fe/Ni/Co- oder Ni-Legierungen.

Zu den besonders bevorzugten Stählen gehören die besonders  
30 säurebeständigen Stähle der Stahlschlüssel-Nummern 1.4059, 1.4085, 1.4086, 1.4136, 1.4138, mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von ca.  $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , und der besonders hitzebeständigen Stähle 1.4710, 1.4729, 1.4740, 1.4743 mit den Wärmeausdehnungskoeffizienten von ca.  $13,5 \cdot 10^{-6}$

$6K^{-1}$ . (Die Nummern beziehen sich auf „Stahlschlüssel“, Verlag Stahlschlüssel GmbH, Marbach, Auflage 2001).

Die Gussteile können dabei beispielsweise als Teil von  
5 Formwerkzeugen oder als Prototypen und Kleinserien im Automobilbau eingesetzt werden.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen die Gussformen, oder zumindest deren wesentliche Teile, mittels eines generativen Rapid  
10 Prototyping-Verfahrens (RP) zu fertigen.

Unter dem generativen RP sind die Verfahren zu verstehen, die zumindest die folgenden wesentlichen Formgebungsschritte umfassen:

15 a) Ausbringen einer Schicht aus Partikeln (Pulverschicht), auf einer Unterlage

b) Glätten der ausgebrachten Schicht mit einer Glättungsvorrichtung

20

c) Härtung der ausgebrachten Schicht in definierten Bereichen  
- durch Verkleben der Partikel unter Einwirkung von Binderflüssigkeit

- oder durch Verschmelzen oder Versintern der Partikel  
25 unter Einwirkung von intensiver elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Laserstrahlung

- oder Verkleben der ausgebrachten Schicht durch lichtinduzierte Härtung von organischen Bindemitteln

30 Durch eine mehrfache Abfolge der Schritte a bis c wird die Grünform sukzessive schichtweise aufgebaut.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Pulverpartikel überwiegend aus keramischem Material mit einem mittleren Wärmeausdehnungskoeffizienten oberhalb  $7,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  bestehen.



Ein weiterer Aspekt der Erfindung bezieht sich auf die verfahrensgemäß besonders geeigneten keramischen Pulvermischungen.

5

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden Pulvermischungen aus Grobmaterial und Feinmaterial verwendet, wobei das Feinmaterial eine deutlich höhere Sinterfähigkeit aufweist als das Grobmaterial. Die Sintertemperatur der Feinpartikel liegt dabei erfindungsgemäß mindestens 50°C unterhalb derjenigen der Grobpartikel. Durch diese Kombination aus sinterfähigem Feinmaterial und weniger sinterfähigem Grobmaterial wird beim keramischen Brand der grünen Gussform eine Begrenzung der Sinterschwindung erreicht. Der Sintervorgang wird im wesentlichen auf das die Bindephase bildende Feinkorn beschränkt. Diese erfindungsgemäße Pulverzusammensetzung ist ein wichtiger Beitrag zur Maßhaltigkeit des Gusses.

Das Feinmaterial wird auch als keramisches Bindemittel, in der keramisierten Form als Bindephase, bezeichnet. Das Grobmaterial wird insbesondere durch die bereits ausgeführten Oxidkeramiken auf der Basis von Al, Zr und/oder Mg gebildet, während das Feinmaterial oder das keramische Bindemittel auf der Basis von SiO<sub>2</sub> und/oder Silikaten aufgebaut ist.

Erfindungsgemäß besteht ein deutlicher Korngrößenunterschied zwischen Grob- und Feinmaterial. In der Partikelgrößenverteilung ergibt sich daher eine deutliche Kornlücke. Typischerweise liegt die mittlere Partikelgröße des Grobanteils oberhalb 10 µm und die mittlere Partikelgröße des Feinanteils unterhalb 5 µm. Dabei sollte die mittlere Partikelgröße des Grobmaterials mindestens das zehnfache der mittleren Partikelgröße des Feinmaterials betragen. Besonders

bevorzugt wird der Feinanteil durch Nanopulver gebildet, beispielsweise durch pyrogenes  $\text{SiO}_2$  oder Aluminiumoxid.

Bei dem Grobmaterial kann es sich ebenso gut um Agglomerate aus kleineren Partikeln handeln. Dabei sind Agglomerate aus Partikeln mit einem Bereich des mittleren Durchmessers von ca. 1-5 $\mu\text{m}$  besonders gut geeignet.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass das im generativen RP-Verfahren eingesetzte Pulver zum überwiegenden Teil aus beschichteten Partikeln besteht. Dabei sind zumindest die groben Partikel mit einer Beschichtung versehen. Die feinen Partikel können als zweite, im allgemeinen unbeschichtete, Pulverkomponente vorliegen. Bevorzugt sind die Feinpartikel aber in oder an der Beschichtung gebunden. Werden Nanopartikel verwendet sind diese typischerweise ein Bestandteil der Beschichtung der Grobpartikel.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung bezieht sich auf die bevorzugten Formgebungsverfahren des generativen RP.

In einer bevorzugten Prozessvariante des generativen RP wird der 3D-Binderdruck angewendet. Die Verfestigung der Partikelschichten wird hierbei durch die Einwirkung von Binderflüssigkeit hervorgerufen, die mittels eines Flüssigkeits-Druckkopfes auf die Schicht aufgetragen wird. Die Klebwirkung kann dabei durch Komponenten der Binderflüssigkeit oder durch Komponenten im Pulver, die durch Einwirkung der Flüssigkeit ihre Klebwirkung entfalten, hervorgerufen werden.

Bevorzugt wird hierbei eine Kombination aus beschichteten Pulvern, deren Beschichtung in organischen Lösungsmitteln gut

lösliche Polymere beinhalten und Binderflüssigkeiten aus organischen Lösungsmittel eingesetzt. Zu den erfindungsgemäß geeigneten Polymeren zählen insbesondere Poly(meth)acrylate, Polyvinylalkohole, Polyvinylacetate, Polyvinylpyrrolidone, oder Polyvinylbutyral, einzeln oder in Mischung. Zu den erfindungsgemäß geeigneten Binderflüssigkeiten zählen insbesondere Mischungen, die C2- bis C7-Alkohole, beispielsweise Ethylalkohol, (iso)Propanol oder n-Butanol, C3- bis C8-Ketone, wie beispielsweise Aceton oder Ethyl-Methyl-Keton, cyclische Ether, wie Tetrahydrofuran, oder Polyether, wie Dimethoxyethanol oder Dimethoxydiethylenglykol enthalten. Im Falle der Verwendung von wachsartigen Beschichtungen sind niedermolekulare aliphatische Kohlenwasserstoffe, insbesondere cyclische oder lineare C6 bis C8 Aliphaten bevorzugt.

In einer weiteren bevorzugten Prozessvariante wird das Lasersintern angewendet. Die Verfestigung der Partikelschichten wird hierbei durch ein Verschmelzen oder Versintern der Partikel untereinander herbeigeführt. Die Verschmelzung und Versinterung kann dabei auch nur auf bestimmte Komponenten der Pulvermischung beschränkt sein. Dies ist beispielsweise der Fall wenn die Pulvermischung aus Keramik- und Polymerpartikeln besteht, wobei dann nur die Polymerpartikel verschmolzen oder versintert werden.

In einer bevorzugten erfindungsgemäßen Verfahrensvariante werden mit Polymeren beschichtete Keramikpulver-Partikel eingesetzt. Dabei wird die Laserleistung so eingestellt, dass lediglich ein Aufschmelzen und/oder Versintern der polymeren Bestandteile stattfindet, ein keramischer Sinterprozess aber ausgeschlossen ist. Als Polymere sind Thermoplaste, beispielsweise Poly(meth)acrylate oder auch Duroplaste, wie beispielsweise Phenolharze, geeignet. Im Falle der Duroplaste

wird unter dem Einfluss der Laserstrahlung eine Carbonisierung des Materials hervorgerufen, wodurch ein fester Kohlenstoffrückstand gebildet wird. Die Polymere sind besonders bevorzugt ein Bestandteil beschichteter  
5 Keramikpartikel.

Auch beim Lasersinter-Verfahren können die bereits ausgeführten Pulvermischungen aus Grob- und Feinanteil analog Anwendung finden.

10

Ein weitere Aspekt der Erfindung betrifft den Aufbau der Gussform.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden im folgenden anhand der Abbildungen näher erläutert. Die Abbildungen sind nur beispielhaft und dienen zur näheren Erläuterung der Erfindung. Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten Ausführungsform der Erfindung beschränkt.

20 Dabei zeigen:

Fig. 1 Querschnitt einer mittels eines generativen RP-Verfahrens hergestellten Gussform aus poröser Keramik (1), Formkavität (2) und geometrisch anspruchsvollem Bereich (3)

25

Fig. 2 Querschnitt einer mittels eines generativen RP-Verfahrens hergestellten Gussform aus poröser Keramik (1), mit Formkavität (2), geometrisch anspruchsvollem Bereich (3), einem Formkern (4) und Rippen (5)

30

Fig. 3 Querschnitt einer zusammengesetzten Gussform mit Formkavität (2), mit einer Schale (6) aus Formsand und einem mittels eines generativen RP-Verfahrens hergestellten Einlegeteils (7), aufweisend einen  
35 geometrisch anspruchsvollem Bereich (3)

Fig. 4 Querschnitt einer Gussform aus poröser Keramik (1) mit Stützrippen (8) und einer Hinterfütterung (9) aus loser Keramik

5

Obwohl sich gerade die generativen RP-Verfahren besonders zur integralen Herstellung auch komplexer Gussformgeometrien eignen, ist es im Sinne der Erfindung nicht ausgeschlossen, dass die Gussform weitere Teile, beispielsweise Stütz- oder Mantelteile (im folgenden auch Formschale) enthält, die mittels anderer Verfahren gefertigt wurden.

Erfindungsgemäß werden dabei die Formkerne oder Einlegeteile (7), insbesondere die Formteile der höchsten geometrischen Anforderungen, mittels generativer RP-Verfahren gefertigt (vergleiche Fig. 3). Die Schale (6), bzw. die Stütz- oder Mantelteile der zusammengesetzten Gussformen werden zweckmäßigerweise durch kostengünstige Formsande, beispielsweise Quarzsand oder Zirkonsand, gebildet. Die im Bereich der Stütz- und Mantelstrukturen verringerte Maßgenauigkeit und Gussoberflächengüte kann vielfach ohne Nachteil hingenommen werden, da die höchsten Qualitätsanforderungen bei den Gussteilen in der Regel nur auf wenige geometrisch anspruchsvolle Bereiche (3) beschränkt sind, während in großen Bereichen teils viel geringere Anforderungen bestehen oder hier teils eine sehr einfache Nachbearbeitbarkeit besteht.

Dies kann insbesondere im Falle vergleichsweise kleiner geometrisch anspruchsvolle Bereiche (3) von Vorteil sein. Auch für einfache Formkerngeometrien, oder wenn für den Formkern ein anderes Material eingesetzt werden soll ist diese zusammengesetzte Vorgehensweise zweckmäßig.

In einer weiteren Variante werden weder Gussform noch Kerne oder Einlegeteile gebrannt, sondern direkt im grünen Zustand im Gießprozess eingesetzt. Die grünen Teile werden insbesondere durch polymergebundenes Keramikpulver auf der Basis von  $ZrO_2$  und/oder  $Al_2O_3$ , gegebenenfalls mit keramischen Bindemitteln, gebildet.

Fig. 2. zeigt die erfindungsgemäße Variante einer zusammengesetzten Gussform, wobei die Gussform (1) aus grüner oder gebrannter Keramik als Formschale aufgebaut ist und ein Formkern (4) aus grüner oder gebrannter Keramik quer durch die Formkavität (2) verläuft. Der Formkern (4) bildet beispielsweise Kühlkanäle, oder Befestigungskanäle des Gussobjektes ab.

Bevorzugt werden die den Formkernen entsprechenden Strukturen (gemäß (4), Fig. 2), beziehungsweise die zum großen Teil vom Gussmetall zu umfließenden Strukturen ebenfalls mittels generativem RP gefertigt. Besonders bevorzugt wird die gesamte Gussform in einem einzigen generativen RP-Prozess integral abgeformt.

Durch das generative RP-Verfahren ist es ebenso in einfacher Weise möglich die Außengestalt der Gussform genau zu fertigen. Beispielsweise ist es möglich auf oder in der Außenseite der Gussform Kühlkanäle vorzusehen, oder Steiger auszubilden. Fig. 2 zeigt exemplarisch eine Ausführungsform mit außenliegenden Rippen (5) die als Kühlkanäle wirken.

In Fig. 4 ist eine weitere Ausgestaltung der Erfindung dargestellt. Sie zeigt den Querschnitt durch eine Gussform aus poröser Keramik (1), welche auf der Formkavität (2) abgewandten Seite Stützrippen (8) trägt. Die Gussform ist zum Abguss des Metalls mit loser Keramik (9) hinterfüllt. Die

Schüttung gibt der vergleichsweise dünnen, mittels generativem 3D-PR-Verfahren gefertigten, Gussform die zum Guss benötigte mechanische Stabilität. Die Schüttung besteht bevorzugt aus Formsand auf der Basis von  $\text{SiO}_2$ , Silikaten oder  
5 Zirkon enthält.

Im einfachsten Fall ist die gesamte Gussform integral mittels generativem RP gefertigt und weist keine Formkerne auf.

- 10 Eine bevorzugte Anwendung der erfindungsgemäßen Gussformen findet sich im Werkzeugbau, insbesondere in der Herstellung von Druckgusswerkzeugen.

DaimlerChrysler AG

Zimmermann-Chopin

09.03.2004

Patentansprüche

1. Gussform für den metallischen Guss oder Feinguss von Präzisionsbauteilen,  
wobei der wesentliche Anteil der Gussform aus einer mittels einem generativen Rapid Prototyping-Verfahren gefertigten porösen Keramik im grünen oder gesinterten Zustand besteht,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der Wärmeausdehnungskoeffizient der Keramik oberhalb  $7,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  liegt und  
dass die Keramik aus beschichteten Keramik-Grobparkeln und sinterfähigen Keramik-Feinpartikeln aufgebaut ist,  
wobei die Sintertemperatur der Feinpartikel mindestens  $50^\circ\text{C}$  unterhalb derjenigen der Grobparkel liegt.
2. Gussform nach Anspruch 1  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der wesentliche Anteil der Gussform durch mindestens ein Einlegeteil und/oder einen Formkern gebildet wird.
3. Gussform nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Gussform eine gerippte Stützkonstruktion umfasst, die mittels einem generativem Rapid Prototyping-Verfahren gefertigt wurde.
4. Gussform nach einen der vorangegangenen Ansprüche  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Gussform zumindest beim Gießen mit einer Schüttung aus Keramikmaterial hinterfüttert wird.



5. Gussform nach einem der vorangegangenen Ansprüche  
dadurch gekennzeichnet,  
dass als generatives Prototyping-Verfahren der 3D-  
Binderdruck oder das 3D-Lasersintern angewendet wurde.
6. Gussform nach einem der vorangegangenen Ansprüche  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die poröse Keramik als Hauptkomponente  
Aluminiumoxid, Zirkonoxid, Magnesiumsilikat, Spinell  
und/oder Magnesiumoxid aufweist.
7. Gussform nach einem der vorangegangenen Ansprüche  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die poröse Keramik organische Bindemittel in einem  
Anteil von 0,5 bis 10 Gew% enthält.
8. Verwendung von Gussformen nach einem der vorangegangenen  
Ansprüche 1 bis 7 zum Feinguss von Metalllegierungen mit  
einem mittleren Wärmeausdehnungskoeffizient im  
Temperaturintervall 0 bis 800°C im Bereich von 5 bis  
 $14 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .
9. Verwendung von Gussformen nach einem der vorangegangenen  
Ansprüche 1 bis 7 zum Blockguss, Schalenguss oder  
Feinguss von Stählen, Fe/Ni- oder Fe/Ni/Co- oder Ni-  
Legierungen.
10. Verfahren zur Herstellung einer grünen Gussform gemäß  
Anspruch 1,  
umfassend die mehrfache Abfolge der Schritte,  
a) Ausbringen einer Schicht aus Partikeln, mittels einer  
Dosiervorrichtung auf einer Unterlage  
b) Glätten der ausgebrachten Schicht mit einer

Glättungsvorrichtung

c) Schichthärtung in definierten Bereichen

- durch Verkleben der Partikel unter Einwirkung von Binderflüssigkeit

- oder durch Verschmelzen oder Versintern der Partikel unter Einwirkung von intensiver Strahlung,

wobei der überwiegende Anteil der Partikel einen mittleren Wärmeausdehnungskoeffizient oberhalb  $7,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  aufweist,

wobei die Keramik aus beschichteten Keramik-Grobparkeln und sinterfähigen Keramik-Feinpartikeln aufgebaut wird, wobei die Sintertemperatur der Feinpartikel mindestens  $50^\circ\text{C}$  unterhalb derjenigen der Grobparkel liegt.

11. Verfahren nach Anspruch 10,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass zumindest die Grobparkel mit organischen Polymeren beschichtet sind.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die grüne Gussform durch keramischen Brand in eine poröse keramische Gussform überführt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass in die grüne oder keramische Gussform mindestens ein Formkern und/oder Einlegeteil aus grüner und/oder gebrannter Keramik auf der Basis von  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ , Spinell, und/oder  $\text{Al}_2\text{O}_3$  eingesetzt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 10,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die grüne Gussform als Formkern oder Einlegeteil

ausgebildet ist und in grüner oder gebrannter Form in eine Stütz- oder Mantelform eingesetzt wird, wodurch eine zusammengesetzte Gussform gebildet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Stütz- oder Mantelform Formsand auf der Basis von  $\text{SiO}_2$ , Silikaten oder Zirkon enthält.
16. Pulvermischung zur Herstellung von Einlegeteilen für Gussformen nach einem generativen Rapid Prototyping-Verfahren gemäß Anspruch 10  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Pulvermischung beschichtete Keramik-Grobpartikel und sinterfähige Keramik-Feinpartikel umfasst, wobei die Sintertemperatur der Feinpartikel mindestens  $50^\circ\text{C}$  unterhalb derjenigen der Grobpartikel liegt.
17. Pulvermischung nach Anspruch 16,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Beschichtung im wesentlichen durch Polymere gebildet wird, die in organischen Lösungsmitteln gut löslich sind.
18. Pulvermischung nach Anspruch 16 oder 17,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Keramik-Grobpartikel Oxide der Elemente Mg, Al und/oder Zr umfassen, und die Keramik-Feinpartikel im wesentlichen aus  $\text{SiO}_2$ , und/oder Silikaten aufgebaut sind.
19. Verwendung von Gussformen nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Herstellung von Werkzeugen oder Werkzeugkomponenten für Druckguss-, Spritzguss- oder Schmiedemaschinen.

20. Verwendung von Gussformen nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Herstellung von Werkzeugen oder Werkzeugkomponenten mit Kühlkanälen.

DaimlerChrysler AG

Zimmermann-Chopin

09.03.2004

Zusammenfassung

Gussform für den metallischen Guss insbesondere den Feinguss von Präzisionsbauteilen von Stählen, bei denen zumindest der wesentliche Anteil der Gussform aus einer mittels einem

- 5 generativen Rapid Prototyping-Verfahren gefertigten porösen Keramik mit hohem an das Metall angepassten Wärmeausdehnungskoeffizient aufgebaut ist, sowie generative Rapid Prototyping-Verfahren und hierfür besonders geeignete beschichtete Pulver, sowie Verwendung der Gussformen für
- 10 Werkzeuge und deren Komponenten, insbesondere aus Stahl.

**(FIG.2)**